

Opinnäytetyö AMK

Koneautomaatio

2020

Iiro Wasén

# RUISKUVALETTAVAKSI SUUNNITELLUN MUOVIKAPPALEEN SOVELTUMINEN 3D- TULOSTETTAVAKSI

Iiro Wasén

# RUISKUVALETTAVAKSI SUUNNITELLUN MUOVIKAPPALEEN SOVELTUMINEN 3D- TULOSTETTAVAKSI

Tämä opinnäytetyö käsittelee ruiskuvalun ja AM-tekniikan yleisimpien huomiokohtien eroja mekaniikkasuunnittelun kannalta. Työn tavoitteena on selvittää kuinka paljon minkäkin tekniikan osaavan mekaniikkasuunnittelijan tarvitsee perehtyä eri valmistustekniikoihin. Tällöin saadaan selville kuinka paljon mekaniikkasuunnittelijaa tulee perehdyttää ennen kuin hän käsittelee hänelle uutta valmistustapaa.

Opinnäytetyössä tutkitaan kaikkia ruiskuvalun, FDM-tekniikan ja DLP-tekniikan yleisimpiä huomiokohtia. Tämän jälkeen huomiokohdista erotellaan mekaniikkasuunnitteluun vaikuttavat kohdat.

Työssä mekaniikkasuunnitteluun vaikuttavat huomiokohdat testataan käytännön kokein. Tällöin tiedetään kuinka paljon nämä huomiokohdat vaikuttavat itse mekaniikkasuunnitteluun.

Lopuksi kaikkea kerättyä tietoa verrataan toisiinsa. Tällöin saadaan selville kuinka paljon ruiskuvalutekniikan tuntevan mekaniikkasuunnittelijan tulee perehtyä AM-tekniikkaan tai toisinpäin.

## ASIASANAT:

Ainettalisäävä valmistus, mekaniikkasuunnittelu, ruiskuvalu

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Machine Automation

2020 | number of pages 39

Iiro Wasén

# SUITABILITY OF A MODEL DESIGNED FOR INJECTION MOLDING FOR 3D PRINTING

This thesis deals with differences in the general points of attention between injection molding and AM -technology from the point of view of mechanical design. The goal was to determine how much a mechanical designer needs to be orientated to a new manufacturing technique when the technique is changed.

The thesis discussed all the general points of attention in injection molding, FDM -technology and DLP -technology. After this, the points of attention that refer to mechanical design were separated and taken into account.

The points of attention that refer to mechanical design were tested. This gave information on how much each point has weight on the end product.

Lastly, all gathered information was compared. This information helped find out how much a mechanical designer, who is familiar with injection molding, has to change their way of designing when designing for AM -technology or vice versa.

## KEYWORDS:

Additive manufacturing, mechanical design, injection molding

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 RUISKUVALUTEKNIIKAN TOIMINNALLISUUS</b>	<b>2</b>
2.1 Yleinen toiminnallisuus	2
2.2 Hyvät ja huonot puolet	3
<b>3 RUISKUVALUTEKNIIKAN HUOMIOKOHDAT</b>	<b>4</b>
3.1 Paksut kohdat	4
3.2 Yhtymäsaumat	4
3.3 Seinämävahvuus	6
3.4 Kasaukseen käytetyt muodot ja tekniikat	7
3.5 Viistot päästöpinnat	9
<b>4 FDM-TEKNIIKAN TOIMINNALLISUUS</b>	<b>11</b>
4.1 Yleinen toiminnallisuus	11
4.2 Hyvät ja huonot puolet	12
<b>5 FDM-TEKNIIKAN HUOMIOKOHDAT</b>	<b>13</b>
5.1 Täyte	13
5.2 Tuenta ja ulokkeet	14
5.3 Vääntyminen	15
5.4 Linjat	16
5.5 Petikosketus	17
5.6 Seinämävahvuus	18
5.7 Orientaatio ja lujuus	18
5.8 Kasaukseen käytetyt muodot ja tekniikat	19
<b>6 DLP-TEKNIIKAN TOIMINNALLISUUS</b>	<b>21</b>
6.1 Yleinen toiminnallisuus	21
6.2 Hyvät ja huonot puolet	22
<b>7 DLP-TEKNIIKAN HUOMIOKOHDAT</b>	<b>23</b>
7.1 Täyte	23
7.2 Tuenta	23
7.3 Seinämävahvuus	24

7.4 Kasaukseen käytetyt muodot ja tekniikat	24
<b>8 KÄYTÄNNÖN KOKEET</b>	<b>25</b>
8.1 Ruiskuvalu	25
8.2 FDM-tekniikka	26
8.3 DLP-tekniikka	29
<b>9 VERTAILU JA JATKOTOIMENPITEET</b>	<b>31</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>32</b>

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Keerna	Liikutettava osa ruiskuvalumuotissa, joka auttaa muodon rakentamisessa
Filamentti	FDM-tekniikassa käytetty lanka, jolla malli tulostetaan
AM	Additive Manufacturing. Ainettalisäävä valmistus. Nimitys jota käytetään yleisesti synonyyminä 3D-printtaukselle
Slicer	AM-tekniologiassa käytetty ohjelma, joka muokkaa mallin muotoon jonka tulostin ymmärtää
FFF	Fused Filament Fabrication. AM-tekniikka jossa käytetään filamenttia
FDM	Fused Deposition Modelling. Tavaramerkin alainen FFF-tekniikka
SLA	Stereolithography Apparatus. AM-tekniikka, jossa käytetään UV-laseria resinin kovetukseen
DLP	Digital Light Processing. AM-tekniikka, jossa käytetään UV-näyttöä resinin kovetukseen

# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee ruiskuvalun ja AM-tekniikan eroja mekaniikkasuunnittelun kannalta. Sen tavoitteena on katsoa niiden eroja niille annettujen yleisimpien huomiokohtien kautta.

Ruiskuvalun kohdalla käsitellään yhden ja monen syöttöpisteen ruiskuvalutekniikkaa. Ruiskuvalusta mainitaan myös joitain tekniikoita niiden ulkopuolelta, joihin ei syvemmin paneuduta.

AM-tekniikkaa katsotaan FDM- ja DLP-tekniikan kannalta. Muutkin tekniikat, kuten FFF ja SLA, saattavat sopia FDM- tai DLP-tekniikan huomiokohtiin, mutta niitä ei erikseen mainita.

Opinnäytetyössä tarkastellaan pinnallisesti eri materiaalit eri tekniikoista. Eri tekniikoille on paljon eri materiaaleja jotka vaikuttavat jokseenkin mekaniikkasuunnitteluun. Niissä kohdissa joissa se suuremmin vaikuttaa on mainittu asiasta.

## 2 RUISKUVALUTEKNIIKAN TOIMINNALLISUUS

### 2.1 Yleinen toiminnallisuus

Ruiskuvalussa kappaleesta suunnitellaan 3D-malli, jonka avulla tehdään muottimalli. Muottimalli suunnitellaan siihen sopivaan ruiskuvalutekniikkaa varten. Eri ruiskuvalutekniikoita ovat normaalin yhden syöttöpisteen käytön lisäksi esimerkiksi ruiskuvalu-ahtopuristus, mikroruiskuvalu ja jatkuvan tuotteen ruiskuvalu. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääosin yhden ja monen syöttöpisteen ruiskuvalutekniikkaan. Tämän jälkeen muotti asetetaan ruiskuvalukoneeseen, joka täyttää muotin halutulla muovilla. Hyvinä esimerkkeinä käytetyistä muoveista ovat

- Polyeteeni (PE), jota käytetään mehupulloissa, ämpäreissä, pakasterasioissa ja leluissa
- Polypropeeni (PP), jota käytetään muovirasioissa
- Polyeteenitereftalaatti (PET), jota käytetään virvoitusjuomapulloissa

[Muilu & Virtanen 2016, 222]

Kappale on useasti vain yhdestä muovista valmistettu, ellei siihen ole asetettu ruiskuvalukoneella ylimääräisiä osia, kun muovi on vielä nestemäisenä muotissa. Toinen tapa jolla saa kappaleen tehtyä monesta eri materiaalista on asettaa toinen aine muottiin ennen ruiskuvaluprosessia. Jos kappale halutaan ruiskuvalaa useammasta materiaalista, voidaan käyttää esimerkiksi lamelliruiskuvalutekniikkaa. Tätä tekniikkaa ei kumminkaan käytetä kauhean useasti sen huonon soveltuvuuden kannalta kappalegeometrioita kohtaan.

[Järvelä & Syrjälä & Vastela 1999, 165-172]

Kun muotti on täytetty muovilla ja se muovi on kovettunut tarpeeksi, kappale työnnetään ulos. Tämän jälkeen kappale viedään mahdolliseen jälkikäsittelyyn ja prosessi aloitetaan uusiksi. Ruiskuvaletun kappaleen jälkikäsittelyyn kuuluu hionta, lisäporaukset, kierteytys, kasausta ja lämmitys. Hiontaa käytetään useasti kappaleen ruiskutus pisteiden tasoittamiseen, muiden epätasaisuuksien korjaamiseen ja pinnanlaadun parantamiseen. Lisäporaukset, kierteytys ja kasausta keskittyy vain kappaleen lopulliseen muotoon saamiseksi. Jos muovimassa on kovettunut epätasaisesti, sen sisään on syntynyt



jännityksiä. Nämä jännitykset saa poistettua lämmittämällä kappaletta sopivaan lämpötilaan ruiskuvalun jälkeen.

[Järvelä & Syrjälä & Vastela 1999, 59]

## 2.2 Hyvät ja huonot puolet

Luvussa käsitellään ruiskuvalutekniikan hyviä ja huonoja puolia verrattuna FDM- ja DLP-tekniikkaan. Teknologioiden erilaisuuden takia eri tekniikoista syntyy eriäviä hyötyjä ja haittoja, joita tulee ottaa huomioon koko suunnitteluprosessissa.

### Hyvät puolet

- Hyvä pinnanlaatu
- Korkea massatuotanto
- Aina sama tuote
- Hyvin pieni jälkikäsittelyn tarve

### Huonot puolet

- Uuden tuotteen lähtöhinta
- Jokaiselle muutokselle tarvitsee tehdä oma malli, jolloin tuotteen lähtöhinta tarvitsee ottaa revisioihin huomioon.
- Yksinkertaiset muodot

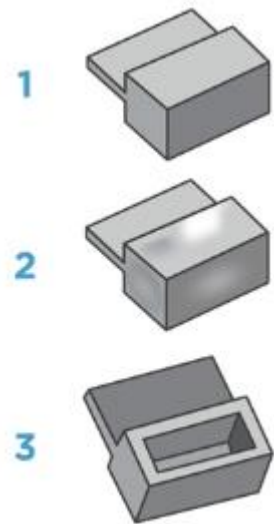
### 3 RUISKUVALUTEKNIIKAN HUOMIOKOHDAT

Kappaleessa käsitellään ruiskuvalutekniikkaan kuuluvat huomiokohdat, kun tuote ruiskuvaletaan. Nämä huomiokohdat keskittyvät suurinoin muotin rakenteeseen.

#### 3.1 Paksut kohdat

Kun ruiskuvaletaan, suunniteltu tuote ei aina vastaa lopputuotetta [kuva1-1]. Sen paksuimpiin kohtiin saattaa muodostua imuja. Imut saavat kappaleen pinnan imeytymään sisäänpäin aiheuttaen epätasaisen pinnan. [Kuva1-2]. Imut pystyy estämään sillä, että suunnittelee ontoksi paksuimmat kohdat [kuva1-3]. Tämä ei kumminkaan poista niitä aina, jolloin se pitää ottaa alustavassa suunnittelussa huomioon.

[Protolabs 2020a]



Kuva 1. Imut.

Ruuvitorneissa etenkin pyritään välttämään paksujen seinämävahvuuksien käyttöä. Imujen aiheuttamat kuopat heikentävät ruuvitorneja aiheuttaen ruuvitornin irtoamisen käytössä.

#### 3.2 Yhtymäsaumat

Yhtymäsaumat syntyvät tilanteista jolloin kaksi sularintamaa yhdistyvät ja niiden huono yhteenhitsautuminen aiheuttaa selvän epämuodostuman yhtymäkohtaan ja pahimmissa tilanteissa heikon sauman. Yhtymäsaumojä syntyy tilanteissa jolloin

- Kappale ruiskutetaan yhdestä tai useammasta pisteestä. Valurintamien yhdistyessä syntyy yhtymäsauma.
- Muotin sisässä on muoto (yleensä keerna) joka aiheuttaa valurintaman jakautumisen. Jos nämä kaksi valurintamaa yhdistyvät, syntyy yhtymäsauma.

- Muotin sisällä oleva epätasainen pinnanlaatu aiheuttaa sularintaman liikkeen hidastumisen yhdestä kohtaa jolloin viereinen/viereiset kohdat puskevat hitaamman edelle ja yhdistyvät sen edessä. Tämä tilanne luo yhtymäsauman.

[Protolabs 2020a] [Järvelä & Syrjälä & Vastela 1999, 184-185]

Ruiskuvalutekniikassa on useita tapoja millä poistaa yhtymäsaumoja tai vähentää niiden pahempaa vaikutusta. Nämä tavat ovat:

- Kappaleen syöttöpisteen valinta. Valittaessa paikkaa syöttöpisteelle tulee ottaa huomioon keernojen ja muiden muotojen aiheuttamien yhtymäsaumojen sijainnit. Syöttöpisteen valinnalla saadaan yhtymäsaumat paikkoihin jossa ne eivät haittaa ulkonäöllisesti.
- Yleisellä lämpötilan muutoksella. Mitä lähempänä muovimassan lämpötila on sen maksimiarvoa, sen helpommin yhtymäsaumat hitsautuvat toisiinsa kiinni. Jos yhtymäsaumojen lämpötila on liian alhainen, kappaleen pintaan syntyy lovi, joka haittaa hyvin pahasti kappaleen ulkonäköä ja lujuutta.
- Muotin kohdelämmitys. Muotin lämpötilaa voi tietyillä tekniikoilla nostaa yhtymäsaumojen kohdista, jolloin kylmiä yhtymäsaumoja.
- Massan kohdelämmitys. Muovimassaa voidaan lämmittää syötössä nostamalla ruiskutusnopeutta. Massan sisäinen kitka toimii lämmittävänä osapuolena tässä tekniikassa.
- Muotti jossa on hyvä pinnanlaatu.
- Live-Feed Injection Moulding. Kyseisessä tekniikassa käytetään hyödyksi ruiskutusyksikköön asennettuja mäntiä ja kahta tai useampaa syöttöpistettä. Yksi mäntä per syöttöpiste. Kun muovimassa on syötetty muottiin, toinen männistä työntyy ulos ja toinen vetäytyy aiheuttaen muovimassan yhtymäsaumoihin liikettä ja sekoittumista. Männillä tehdään edestakaisliikettä niin kauan kunnes ollaan varmoja siitä, että yhtymäsaumat on sekoittunut. Tämä kadottaa yhtymäsauman. Tätä tekniikkaa on hankala toteuttaa komplekseihin ruiskuvalumuotteihin.
- Epäsymmetrinen muottipesän täyttö. Tässä tekniikassa käytetään kahta syöttöpistettä. Toisesta syöttöpisteestä syötetään hitaammin ainetta ulos aiheuttaen yhtymäkohdan taipumisen, joka suurentaa sen yhtymäsauman pinta-alaa, joka taas nostaa sen lujuutta.
- Liikkuva rajapinta tekniikka. Muottiin asennetaan muottipesään ulottuvat tapit joita liikutetaan kun muovimassa on syötetty. Tämä aiheuttaa samanlaisen tapahtuman kuin Live-Feed Injection Moulding. Liikkuvan rajapinnan tekniikassa

on kumminkin omat murheensa tappien sijoituksen selvittämisessä, liikuttamis-  
mekanismin toteutuksessa ja tappien aiheuttamisessa jäljissä kappaleen pintaan.

- Taskumenetelmä. Kyseisessä tekniikassa toisen sularintaman puolelle laitetaan pieni reikä. Tämän reiän tulee olla niin pieni, että se täyttyy vasta kun koko muu muotti on täyttynyt. Kun muotti on täynnä, se tasku alkaa täyttymään aiheuttaen yhtymäsaumaan samanlaisen tapahtuman kuin epäsymmetrisessä muottipesän täytössä.
- Kaskadisyöttö. Tätä tekniikkaa käytetään pitkissä kappaleissa. Tekniikka toteutetaan monella täyttösuuntaan suunnatulla syöttökanavalla. Syöttökanavia käynnistetään sarjassa. Jokainen syöttökanava, ensimmäistä lukuunottamatta, käynnistetään, kun sularintama on ohittanut syöttöpisteen.
- Liuottimien käyttö. Kappale käsitellään liuottimilla sen jälkeen, kun se on saatu muotista. Liuottimet sulattavat muovia aiheuttaen yhtymäsaumojen sekoittumisen ja mahdollisten lovien poistumisen.
- Yhtymäsaumojen mekaaninen eliminoiminen. Jos yhtymäsauma on keernan aiheuttama, keernan voi työntää muottiin vasta kun sularintama on ylittänyt sen kohdan. Tämä tekniikka poistaa ylimääräiset sularintamien jakautumiset. Keernojakaan ei välttämättä tarvitse käyttää jos mekaaninen työstö on mahdollista.

[Järvelä & Syrjälä & Vastela 1999, 185-189]

### 3.3 Seinämävahvuus

Ruiskuvalussa seinämävahvuuden määrittää materiaali ja ruiskuvalumenetelmä. Jos seinämävahvuuden asettaa liian pieneksi, kohdasta tulee heikko. Jos seinämävahvuuden asettaa liian isoksi, syntyy imuja. Taulukko 1 käsittelee suositeltuja seinämävahvuuksia eri materiaaleille.

Jos pienempiin seinämävahvuuksiin halutaan päästä käytetään mikroruiskuvalutekniikkaa. Mikroruiskuvalutekniikalla on saavutetaan seinämävahvuuksia aina 2,5 µm:ään asti. Tätä tekniikkaa käytetään esimerkiksi lääketieteellisyydessä, käyttäen materiaaleja jotka ovat vakumoitavia.

[Järvelä & Syrjälä & Vastela 1999, 178]

Taulukko 1. Suositellut seinämävahvuudet.

MATERIAALI	SUOSITELLUT SEINÄMÄVAHVUUKSET
ABS	1.143mm - 3.556mm
Acetal	0.762mm - 3.048mm
Akryyli	0.635mm - 12.7mm
Nestekidemuovi	0.762mm - 3.048mm
Pitkäkuituisella lujitetut muovit	1.905mm - 25.4mm
Nylon	0.762mm - 2.921mm
Polykarbonaatti	1.016mm - 3.81mm
Polyesteri	0.635mm - 3.175mm
Polyetyleni	0.762mm - 5.08mm
Polyfenyleenisulfidi	0.508mm - 4.572mm
Polypropyleeni	0.635mm - 3.81mm
Polystyreeni	0.889mm - 3.81mm
Polyuretaani	2.032mm - 19.05mm

### 3.4 Kasaukseen käytetyt muodot ja tekniikat

Ruiskuvalulla tehdyt kuoret yleisimmin kasataan ruuvitorneilla ja Snap-liitoksilla. Jos kuoreen kiinnitetään jotain muita osia, käytetään yleensä ruuveja jotka kiristetään toisen kappaleen läpi ruiskuvalukuoreessa olevaan ruuvitorniin.

Ruuvitornin suunnittelussa tarvitsee ottaa huomioon ettei ruuvitornin seinämiä tee liian paksuksi. Paksut ruuvitornit aiheuttavat imuja ruuvitornin vastakkaiselle puolelle, joka on ulkonäöllisesti haitallisia. Jotta ruuvitornit saataisiin kestäviksi ja luotettaviksi, ne kiinnitetään seinämiin tai pohjaan tukirivoilla, pienillä seinämillä, jotka suunnataan poispäin ruuvireiästä. [Kuva 2.]



Kuva 2. Sony Playstation 3-peliohjaimen ruuvitornikiinnitys.

[Järvelä & Syrjälä & Vastela 1999, 315-320]

Snap-liitokset ovat toinen tapa jolla saadaan ruiskuvalukappaleita kiinni toisiinta. Niiden suunnittelussa kumminkin tarvitaan hyvin suuri määrä ajattelua kestävyiden ja asettelun kannalta. [Kuva 3.]



Kuva 3. Snap-liitos.

[Järvelä & Syrjälä & Vastela 1999, 312-315]

Kolmas tapa jolla saa ruiskuvalukappaleita kiinni toisiinsa on silkka liimaaminen tai su-  
lattaminen esim. ultraäänihitsauksen avulla. Tämä rakentaa kestävän tuen, mutta hait-  
tapuolena on se liitoksen irrotus tarvittaessa. Tätä tapaa siis käytetään jos ruiskuvalu-  
muottiin ei ole saatu haluttua muotoa tai jokin ylimääräinen kappale ollaan haluttu ruis-  
kuvalukuoren sisään ilman mahdollista jälkikäteen tapahtuvaa korjaustoimenpidettä.

[Järvelä & Syrjälä & Vastela 1999, 322-324]

### 3.5 Viistot päästöpinnat

Kun muottia suunnitellaan, päästöpinnat, ulostyönnön suuntaiset pinnat, tulee asettaa  
tiettyyn astekulmaan [taulukko 2]. Se vähentää kappaleen ja muotin välisen kitkan ai-  
heuttaman voiman ja helpottaa tällöin kappaleen irroitusta muotista. Tämän takia ruisku-  
valukappaleisiin on hankala suunnitella 90 asteen kulmia, ellei ne sitten ole kohtisuo-  
rassa ulostyöntöön nähden. [Kuva 4.]



Kuva 4. Viistot sulkupinnat.

Taulukko 2. Sulkupinnat.

<b>PYSTYSEINÄMÄT</b>	0.5°
<b>USEIMMITEN</b>	2°
<b>MINIMI SULKUPINTOIHIN</b>	3°
<b>MINIMI STRUKTUURIPINNALLE (PM-T1)</b>	3°
<b>MINIMI STRUKTUURIPINNALLE (PM-T2)</b>	5°+

[Protolabs 2020b]



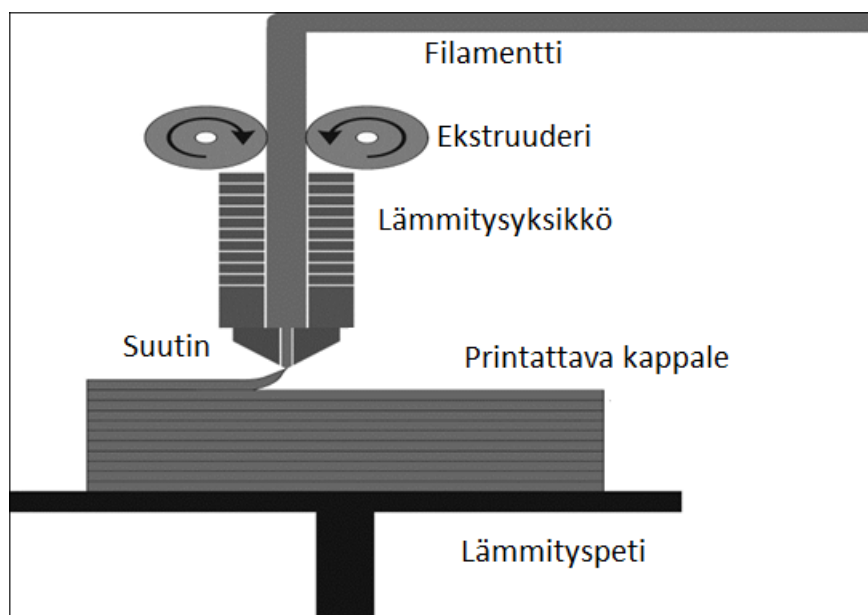
## 4 FDM-TEKNIIKAN TOIMINNALLISUUS

### 4.1 Yleinen toiminnallisuus

FDM-tekniikassa kappaleesta suunniteltu 3D-malli siirretään sliceriin. Slicerilla muokataan mallista tehtävää koodia sopivaksi käytössäolevaa printteriä varten ja sillä lisätään malliin mahdollinen tuenta ja täyte. Tämän jälkeen se muunnetaan, joko slicerilla tai erillisellä muuntajalla, koodiksi, jonka FDM-printteri osaa lukea. Saadessaan koodin ja käynnistyskomennon, FDM-printteri alkaa tulostamaan kappaletta kerros kerrokselta filamentista joka siihen on asetettu [kuva 5]. Hyviä esimerkkejä käytetystä filamentista ovat

- Polylaktidi (PLA), joka on helppokäyttöinen, halpa, yleisimmin käytetty ja biohajoava.
- Akryylinitriilibutadieenistyreeni (ABS), joka on kestävä ja halpa vaihtoehto printtereille jotka pystyvät käsittelemään materiaalia.
- Polyetyleenitereftalaatti (PET), joka on hyvä vaihtoehto siinä vaiheessa kun suunnittelee vedenpitävää kappaletta.
- Nailon, joka on kestävä ja joustava vaihtoehto kun aletaan suunnitella varmoja tuotteita loppukäyttäjille.

[All3DP 2020]



Kuva 5. FDM-printterin toiminto.

Riippuen FDM-printterin suutinpäiden määrästä, niin monta eri filamenttia ja sen myötä materiaalia voidaan käyttää samanaikaisesti. Tämän lisäksi kappaleeseen voi asettaa kesken printtausta ylimääräisiä osia, niille sopiviin kohtiin.

FDM-printatun kappaleen jälkikäsittelyyn kuuluu tukimateriaalin poisto, hionta, kemiallinen pintakäsittely, yleinen pintakäsittely, kierteytys ja tarpeentullen kasaus. Tukimateriaalin poisto on tehtävä aina kun kappaletta printtaa tukimateriaalilla. Hionta ja kemiallinen pintakäsittely on yleensä kappaleen estetiikkaan sidonnainen. Kierteytystä tehdään jos kappaleessa on ruuvireikiä joita ei saatu kierteytettyä 3D-printtaamalla.

[Maker's Muse 2020g]

#### 4.2 Hyvät ja huonot puolet

Luvussa käsitellään FDM-tekniikan hyviä ja huonoja puolia verrattuna ruiskuvalu- ja DLP-tekniikkaan. Teknologioiden erilaisuuden takia eri tekniikoista syntyy eriäviä hyötyjä ja haittoja, joita tulee ottaa huomioon koko suunnitteluprosessissa.

##### Hyvät puolet

- Monimutkaiset muodot
- Muokattavuuden kannalta helppo
- Lähtöhinta matala
- Useamman materiaalin käyttö samassa kappaleessa

##### Huonot puolet

- Pinnanlaatu, ilman hiontaa tai kemiallista pintakäsittelyä
- Printterien ennalta-arvaamattomuus, joka tuottaa pienen eroavaisuuden jokaiseen tuotteeseen

## 5 FDM-TEKNIIKAN HUOMIOKOHDAT

Kappaleessa käsitellään FDM-tekniikkaan kuuluvat huomiokohdat, kun tuote printataan 3D-printterillä, joka käyttää filamenttia materiaalina. Nämä huomiokohdat keskittyvät suurinoin slicerin parametreihin.

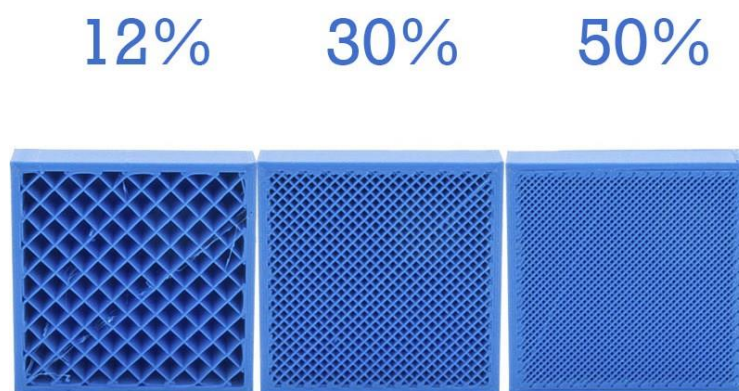
### 5.1 Täyte

FDM-tekniikalla tehdyt kappaleet voidaan valmistaa ontoiksi valmistusajan ja materiaalikustannusten pienentämiseksi. Yleisesti kappaletta ei kumminkaan jätetä täysin ontoksi, jotta kappaleen lujuus ei kärsi liiallisesti. Tällöin käytetään täytettä (eng. infill), johon käytetään samaa materiaalia mistä kaikki muukin kappaleesta on tehty.

Täytteen muotoja on monenlaista, aina yksinkertaisista muodoista (neliö, hunajakenno), aina monimutkaisimpiin muotoihin (3D-hunajakenno) ja siitä visuaalisiin muotoihin. Täytteen muoto asetetaan tietynsuuntaista lujuutta ajatellen. Tähän myös vaikuttaa täytteen suunta. Vain harvoin tulee ja kannattaa käyttää visuaalista muotoa, koska niitä ei yleisesti ole tarkoitettu muu kuin visuaalinen efekti mielessä.

Asiat jotka myös vaikuttavat täytteen toimivuuteen lujuuden parantajana ovat sen paksuus ja tiheys. Kun täytteen paksuutta ja tiheyttä muuttaa, tulee kumminkin ottaa huomioon valmistusaika ja materiaalikustannukset. [Kuva 6.]

[Maker's Muse 2020h]



Kuva 6. Täytteen tiheys.

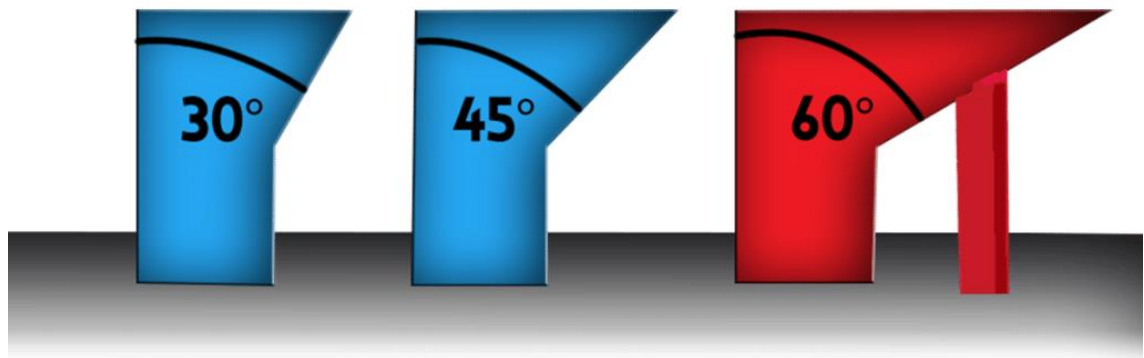
## 5.2 Tuenta ja ulokkeet

Koska FDM-printtauksessa kappale valmistetaan kerroksittain, tarvitsee silloin tällöin käyttää tuentaa (eng. support). Tuenta auttaa kappaleen valmistuksessa suunnattomasti ja estää printtauksen keskeytyvät ja materiaalin roikkumisen (eng. sagging).

[Maker's Muse 2020b]

Tuennassakin on omat huonot puolensa. Niihin kuuluu materiaalikustannusten nousumisen lisäksi jälkikäsittely. Jälkikäsittelyllä pyritään saamaan tuennat ja sen aiheuttamat esteettiset ongelmat pois. Ulokkeen (eng. overhang) astekulmalla pystyy vähentämään tuennan käyttöä. Keskimääräisesti FDM-printtereissä ulokkeen maksimistekulma ilman tuentaa on 45°. [Kuva 7.]

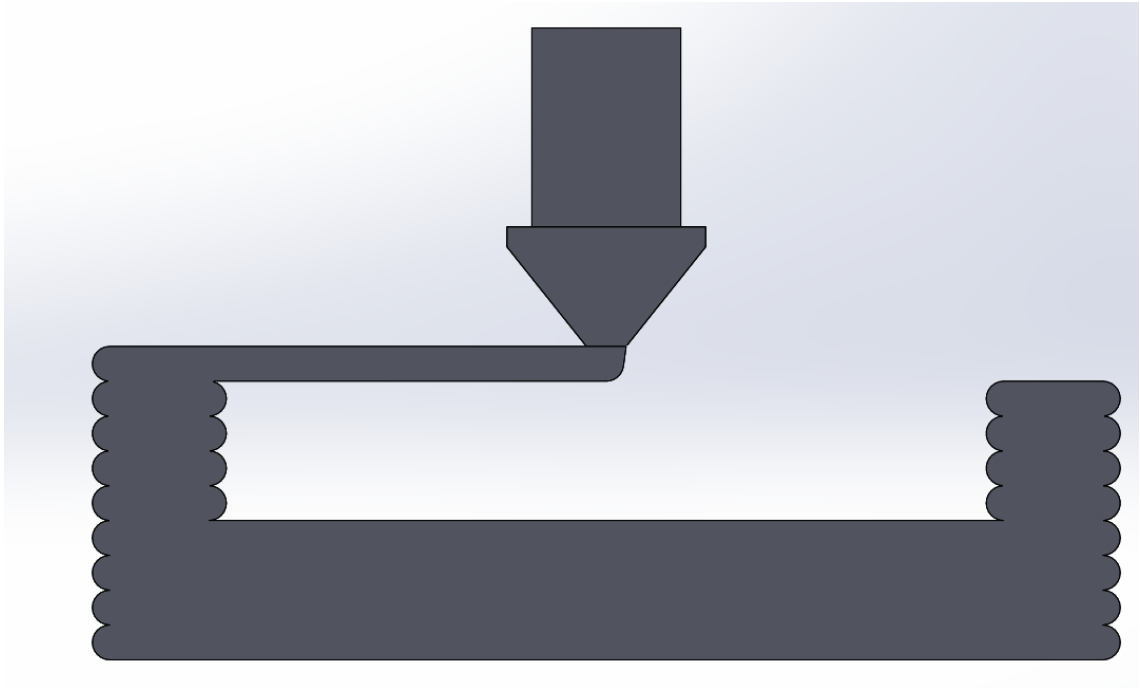
[Maker's Muse 2020b]



Kuva 7. Tuennan astekulma.

Ulokkeita käytetään vain jos kyseinen printtausajo ei vie toiseen tuettuun osioon. Kun kyseinen printtausajo menee toiseen tuettuun osioon, eikä printinlaadulla ole niinkään väliä, tehdään silloitus (eng. bridging) toimenpide. Tämä saadaan aikaiseksi ottamalla suutinpää itse printattavan materiaalin tueksi. Jotta tämä saadaan aikaiseksi, tulee parametrisetuksissa olla oikea lämmitysyksikön lämpötila asetettuna. Jos lämpötila on liian alhainen, se ei printtaa kestävä kappale. Jos lämpötila on liian korkea, se saa silloitetun osion valahtamaan ennen kuin suutinpää pääsee ylittämään sen tyhjän kohdan jota se pyrkii täyttämään. [Kuva 8.]

[Maker's Muse 2020b]

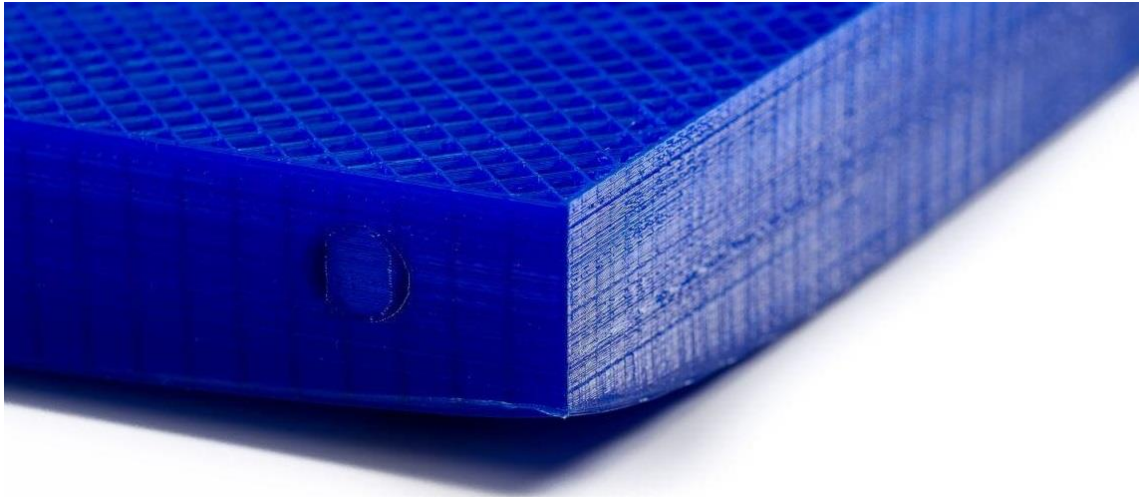


Kuva 8. Silloitus.

Koska FDM-printtauksessa on mahdollista käyttää kahta tai useampaa suutinpäätä ja sen myötä kahta tai useampaa materiaalia kerrallaan on veteensulavan materiaalin (PVA) käyttö mahdollista tuennassa. Veteensulavan materiaalin käyttö poistaa silloituksessa, normaalissa jälkikäsittelyssä ja suunnittelussa tulevat ongelmat. Tämä kummin-kin nostaa tukimateriaalin hintaa moninkertaisesti.

### 5.3 Vääntyminen

Vääntymistä (eng. warping) tapahtuu tiettyjen materiaalien (ABS) käytön aikana, kun lämpötila lämmityspedillä tai ympäristössä ei ole tarpeeksi korkea. Tämä tilanne saa kappaleen jäähtymään epätasaisesti, jolloin osa siitä kutistuu muita osia nopeammin ja se alkaa vääntymään. Tämä saattaa johtaa kappaleen irtoamiseen pedistä, joka ei ole suotavaa. [Kuva 9.]



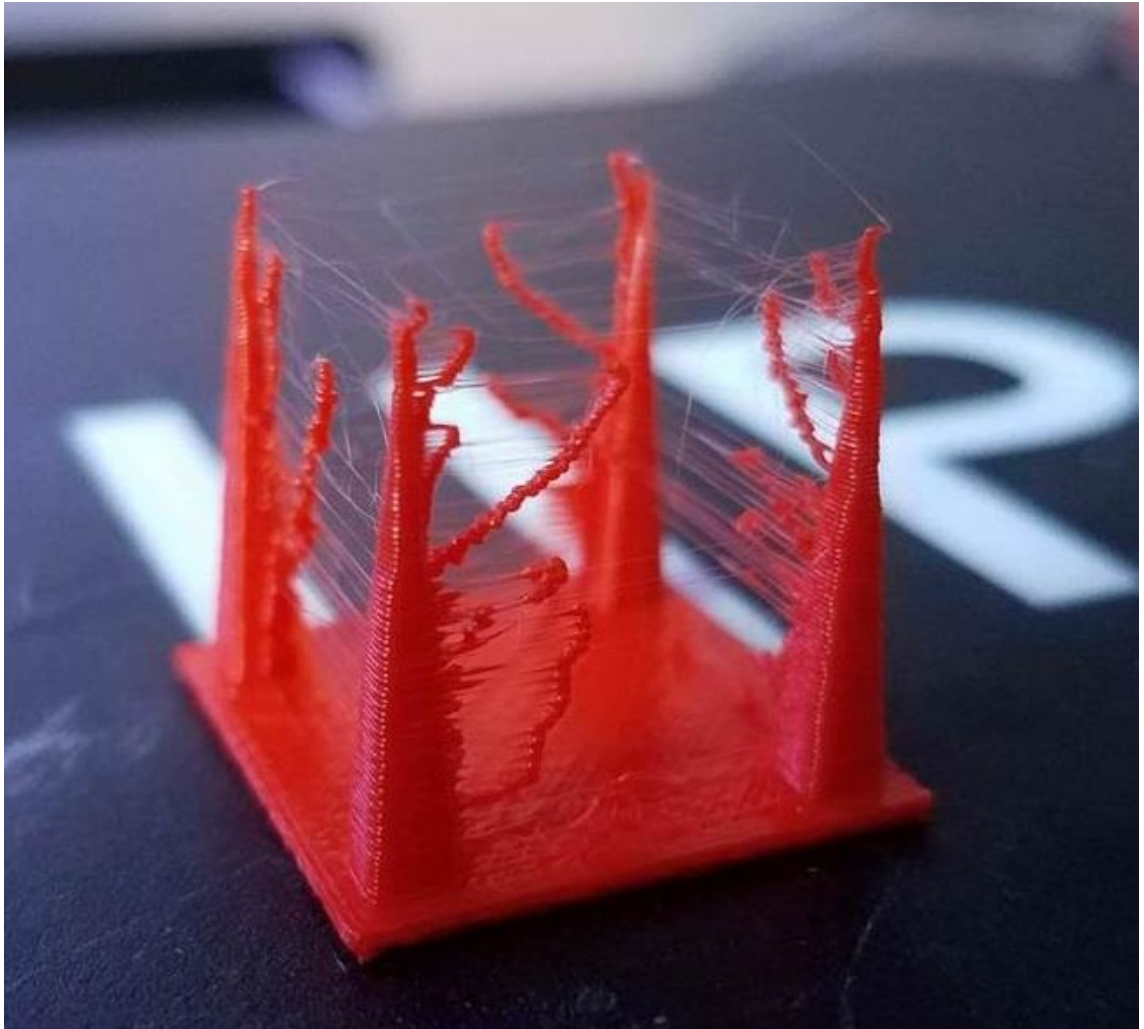
Kuva 9. Vääntyminen.

Vääntymisen saa estettyä nostamalla ympäristön lämpötilaa tai ohentamalla kappaleen seinämiä. Kappaleen seinämien ohennus helpottaa kappaleen jäähtymistä nopeammin, kun taas ympäristön lämpötilan nosto hidastaa kappaleen jäähtymistä, jolloin se tapahtuu tasaisemmin. Ympäristön lämpötilan säädön saa aikaiseksi suljetulla printtausympäristöllä, kuten esimerkiksi kammion käytöllä.

#### 5.4 Linjat

Linjoja (eng. strings) syntyy kun kahden printattavan osion välissä on tyhjää ja suutinpää lopettaa materiaalin ulostyönnön sillä välillä. Tämä tilanne synnyttää printattavien osioiden välille narumaisen linjan, joka on haitaksi kappaleen esteettisyydelle, jos jälkikäsittelyllä sitä ei poista. Linjojen paksuutta voidaan vähentää ja tällöin poistoa helpottaa, jos printtausparametreista asetetaan sisäänveto (eng. retraction) päälle. Tämä aiheuttaa FDM-printterin vetämään takaisin pienen määrän filamenttia kun se joutuu ylittämään tyhjän kohdan. Tämä ei kumminkaan poista täysin linjoja. Linjat saadaan pois, jos kappale suunnitellaan oikein tai se orientoidaan printtavaksi oikein päin. [Kuva 10.]

[Maker's Muse 2020f]



Kuva 10. Linjat.

### 5.5 Petikosketus

Koska FDM-printtereillä saa valmistettua monenmuotoisia ja monenlaisia kappaleita, saattaa kappaleen kosketus petiin olla pieni. Tämä tilanne saattaa aiheuttaa kappaleen tai kappaleen osan irtoamisen pedistä ennen kuin printtaus on valmis. Tämän pystyy estämään useammalla eri tavalla.

- Sideaineen käyttö. Sideaineena voi käyttää lakkaa, liimaa tai eri 3D-printterin valmistajien tuottamia erikoisaineita. Nämä saavat kappaleen liimaantumaan petiin syntyvään tahmeaan pintaan.

- Sidemateriaalin käyttö. Sidemateriaalin käytöllä tarkoitetaan pedin huokoistamista ja sen pinta-alan suurentamista erillisellä materiaalilla. Sidemateriaalina voi käyttää teippiä tai erillistä 3D-printtaukseen tarkoitettua petipäällystä.
- Kappaleen esisuunnittelulla. Kun kappale valmistetaan 3D-printtavaksi slicerin avulla, siihen voi suunnitella lautta (eng. raft) tai reuna (eng. brim). Tämä suurentavat kappaleen petikosketusta ja estävät kappaleen irtoamisen printtauksen aikana.
- Kappaleen orientaatio. Kappale voidaan asettaa pedille niin että sillä on mahdollisimman paljon petikosketusta.
- Kappaleen leikkaus. Jos kappale on täynnä epätasaisia pintoja, jotka aiheuttavat huonon petikosketuksen, voidaan kappaleesta ottaa pieni pala pois petikosketuksen suurentamiseksi.
- Kappaleen suunnittelu. Jos olet mallintamassa esimerkiksi hyvin fantasiapohjaista vasaa, jonka turkki pitää olla täydellinen ja sen takia se tulee printata jalat printtauspedillä, voidaan suunnitteluvaiheessa tehdä kompromissi ja suurentaa vasan sorkat.

[Maker's Muse 2020c]

## 5.6 Seinämävahvuus

FDM-tekniikalla printattujen kappaleiden seinämävahvuus riippuu hyvin paljon materiaalista, orientaatiosta, koosta ja yleisesti kappaleen muodoista. Muovipohjaisilla filamenteilla (ABS, PLA, jne.) minimi seinämävahvuus on 1-2 mm.

Teoreettinen minimi seinämävahvuudelle on 0,1 mm FDM-printterin suutinpään takia. Kumminkaan yhtäkään materiaalia ei ole suunniteltu joka ei pursuasi isommalle alueelle kuin suutinpään pienin halkaisija ja 0,1 mm suutinpään kohdalla tulee useasti ongelmaksi materiaalin syöttö niin pienen reiän läpi materiaalin viskositeetin takia.

## 5.7 Orientaatio ja lujuus

Orientaatio on yksi suurimmista huomiokohdista FDM-printtauksessa. Tämä on tärkeä FDM-printterin valmistustavan vuoksi. Jokaikinen printtausajo tulee saada asetettua jonkin fyysisen asian päälle, kun printteri printtaa massaa kerros kerrokselta ilmaan. Tämän



takia silloitus, tuenta ja ulokkeen astekulma ovat tärkeitä työkaluja. Näillä saa gravitaation aiheuttaman ongelman korjattua. Tämä FDM-printtereihin olennainen valmistustapa aiheuttaa yleisesti huonon pinnanlaadun kappaleen pystyseinille.

[Maker's Muse 2020a]

Orientaatio on lujuuden kannalta myös huomioitava. Jokaikisen kerroksen väliin jää heikko yhdistyskohta, kun materiaalit eivät hitsaannu täysin kiinni toisiinsa. Tämä tekee vertikaalisen leikkauslujuuden heikoksi. Tätä leikkauslujuutta pystyy suurentamaan:

- Lämmitysyksikön lämpötilaa suurentamalla
- Täytettä lisäämällä
- Kerroskorkeutta (eng. layer height) suurentamalla
- Täytteiden päällekkäisyyttä (eng. infill overlap) lisäämällä
- Syöttökerrointa (eng. extrusion multiplier) lisäämällä
- Syöttöleveyttä (eng. extrusion width) lisäämällä
- Seinämäpaksuutta (eng. surface thickness) suurentamalla
- Muokkamalla malli sellaiseen muotoon jotta jokaisella kerroksella olisi enemmän pinta-alaa.
- Kääntämällä malli sellaiseen asentoon jotta jokaiselle kerrokselle olisi enemmän pinta-alaa tai malliin vaikuttava voima on kerroksien suuntainen.

[Maker's Muse 2020d] [Maker's Muse 2020e]

## 5.8 Kasaukseen käytetyt muodot ja tekniikat

FDM-printtauksessa yleisesti toimii samat tekniikat mitä ruiskuvalussakin: Kiinnityssoketit, ruuvitornit ja liimaus. Kohdat mitä kiinnityssoketeissa tarvitsee huomioida ovat:

- Leikkuulujuus.
- Toleranssi, jonka pystyy tarkistamaan 3D-printterin omista tiedoista ja testaamalla kuinka paljon eri parametreilla se heittää.

Kohdat mitä ruuvitorneissa pitää ottaa huomioon ovat:

- Seinämäpaksuus. Tämä vaikuttaa myös jos halutaan printata kierteet myös ruuvitorneille.

- Kierteen muoto. Yleisimmin FDM-printtauksella ei saa samanmuotoisia ja yhtä tarkasti valmistettuja kierteitä että ne täyttäisivät yleiset ruuvikierrestandardit. Tämän takia, jos kierteet haluaa tehdä FDM-printtauksella, niin ruuvi ja reikä yleensä kuuluu olla FDM-printattuja.

Liimaus on mahdollista FDM-printatuille kappaleille, mutta se ei yleisesti ole tarpeen. Tämä johtuu FDM-printterin toiminnallisuudesta. Jos yksittäisen kappaleen sisään halutaan pysyvästi jokin kappale, voidaan printtaus keskeyttää sopivassa vaiheessa, asettaa sisälle laitettava sille sopivaan kohtaan kappaleessa [kuva 11] ja jatkaa printtausta siitä mihin jäätiin [kuva 12].



Kuva 11. Kappaleen lisäys kesken printin.

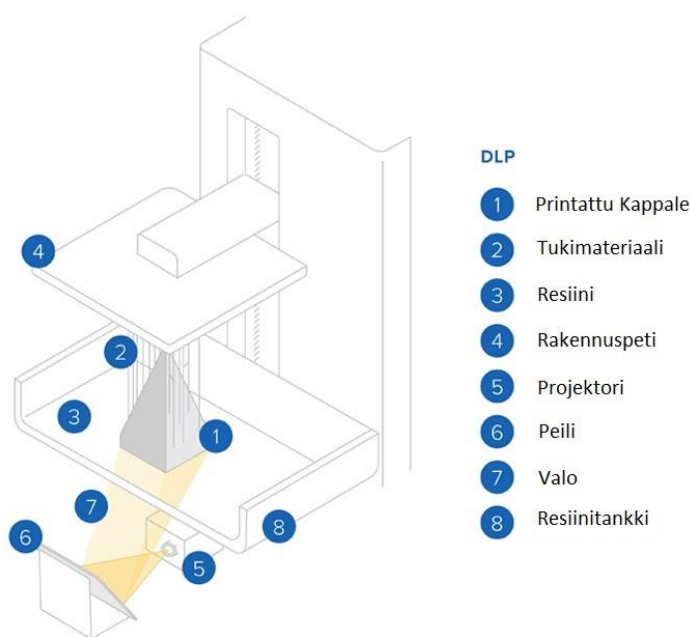


Kuva 12. Kappale printatun kappaleen sisällä.

## 6 DLP-TEKNIIKAN TOIMINNALLISUUS

### 6.1 Yleinen toiminnallisuus

DLP-tekniikassa kappaleesta suunniteltu 3D-malli siirretään sliceriin, jolla muokataan malli sopivaksi käytössäolevaa printteriä varten. Tämän jälkeen se muunnetaan, joko slicerilla tai erillisellä muuntajalla, koodiksi, jonka DLP-printteri osaa lukea. Saadessaan koodin ja käynnistyskomennon, DLP-printteri laskee rakennuspedin resiinitankkiin. Projektorilla kuvastetaan resiinitankkiin UV-valolla kuva halutusta kerroksen muodosta. Kun kerros on kovetettu UV-valolla, rakennuspeti nostetaan yhden kerroksen ylemmäs ja siihen kuvastetaan toinen kuva halutusta kerroksen muodosta. Tämä jatkuu kunnes viimeinen kerros on kovetettu. [Kuva 13.] Kappale irroitetaan rakennuspedistä, tyhjennetään ylimääräisestä nestemäisestä resiinistä ja asetetaan UV-valolla rikastettuun alueeseen. Näin kappaleesta saadaan lujempi.



Kuva 13. DLP-printterin toiminnallisuus.

DLP-printtauksessa käytetään nestemäistä monomeeri ja oligomeeri-sekoitusta. Tämän aineen ja tekniikan takia DLP-printattua kappaletta ei voi rakentaa useammasta materiaalista kuin yhdestä.

DLP-printatun kappaleen jälkikäsittelyyn kuuluu, jälkikovuksen lisäksi, tukimateriaalin poisto, reikien korjaus ja tukimateriaalien korjauksesta tulleiden epätasaisuuksien korjaus ja hionta. Jälkikovuus on pakollinen prosessi DLP-tekniikassa. Kaikki muut jälkikäsittelyyn kuuluvat kohdat ovat mallin lopputuotteen muotojen parantamiseen.

## 6.2 Hyvät ja huonot puolet

Luvussa käsitellään DLP-tekniikan hyviä ja huonoja puolia verrattuna FDM- ja ruiskuvalutekniikkaan. Teknologioiden erilaisuuden takia eri tekniikoista syntyy eriäviä hyötyjä ja haittoja, joita tulee ottaa huomioon koko suunnitteluprosessissa.

### Hyvät puolet

- Monimutkaiset muodot
- Hyvä pinnanlaatu
- Muokattavuuden kannalta helppo
- Tarkat muodot
- Nopea valmistus

### Huonot puolet

- Kappaleen elinikä
- Resiinin aiheuttamat ongelmat

## 7 DLP-TEKNIIKAN HUOMIOKOHDAT

Kappaleessa käsitellään FDM-tekniikkaan kuuluvat huomiokohdat, kun tuote printataan 3D-printterillä, joka käyttää nestemäistä resiiniä materiaalina. Nämä huomiokohdat keskittyvät suurinosin slicerin parametreihin.

### 7.1 Täyte

Yleisesti DLP-printterin kanssa käytettävä slicer antaa pohjimmiltaan 100% täytön, niin ettei sen sisällä ole muuta kuin kovetettua resiiniä. Tämä on painon ja materiaalikustannuksen takia huono asia. Tämän korjaamiseksi slicereissa on mahdollisuus käyttää onttoamis-toimintoa (hollow). Tämä toiminto poistaa mallin sisärakenteet ja jättää uloimmat pinnat kovetettaviksi. Ongelmaksi jää printterin oma tekniikka. Jos mallissa ei ole reikää, jolla poistaa ylimääräinen nestemäinen resiini sen sisältä, se tulee jäämään kappaleen sisälle.

Kun nestemäinen resiini halutaan pois mallista, voidaan mallintaa slicerilla kappaleeseen reikä, jolla kappale tyhjennetään jälkeensä. Useimmiten kappaleeseen asetetaan enemmän kuin yksi reikä. Näiden reikien tarkoitus ei ole ainoastaan ylimääräisen resiinin poisto vaan myös printtauksessa aiheutuvan alipaineen pienennys kappaleen ja resiinitankin välillä. Jos reikää ei aseteta printtausta varten, printattu aines saattaa irrota rakennuspedistä, jossa tämä aines on kiinni, jolloin printtaus epäonnistuu.

[3DPrintFarm 2020]

Tämä ei kumminkaan riitä halvemmän ja kevyemmän kappaleen printtaukseseen, vaan lujuus pitää ottaa myös huomioon. Ontto rakenne ei ole niinkään luja, jolloin slicerilla voidaan kehittää täyte kappaleen sisään tukirakenteeksi. Tämä nostaa kappaleen lujuutta ja auttaa sitä pysymään kasassa.

### 7.2 Tuenta

Kuten FDM-tekniikassakin, DLP-tekniikassa käytetään tuentaa. Tämä johtuu kerroksittaisesta printtauksesta. DLP-tekniikassa tulee kumminkin ottaa huomioon, että kappaletta ei mieluusti printata suoraan rakennuspedille. Tämä johtuu printatun kappaleen

poiston helpottamisesta ja siitä että malli valahtaa, aiheuttaen mahdollisten pyöreiden muotojen suorentumisen. Tällöin slicerilla suunnitellaan kappaleeseen tuenta jonka saa asetettua rakennuspedin ja kappaleen välille. Tuentaan saa, parametrien avulla, määrättyä tietty kulma sen ulkoreunoille, joita voidaan käyttää kappaleen irroittamisessa työkalujen avulla.

[Chitubox 2020]

### 7.3 Seinämävahvuus

DLP-tekniikalla printattujen kappaleiden minimiseinämävahvuus on n. 0,2 mm. Tämä seinämävahvuus riippuu printterin projektorin pikselikoosta. Mitä tarkempi kuva on kyseessä sitä pienemmäksi seinämävahvuuden saa. Tulee kumminkin ottaa huomioon, että resiinin lujuus ei aina ole tarpeeksi kun on kyse ohuista seinämistä.

### 7.4 Kasaukseen käytetyt muodot ja tekniikat

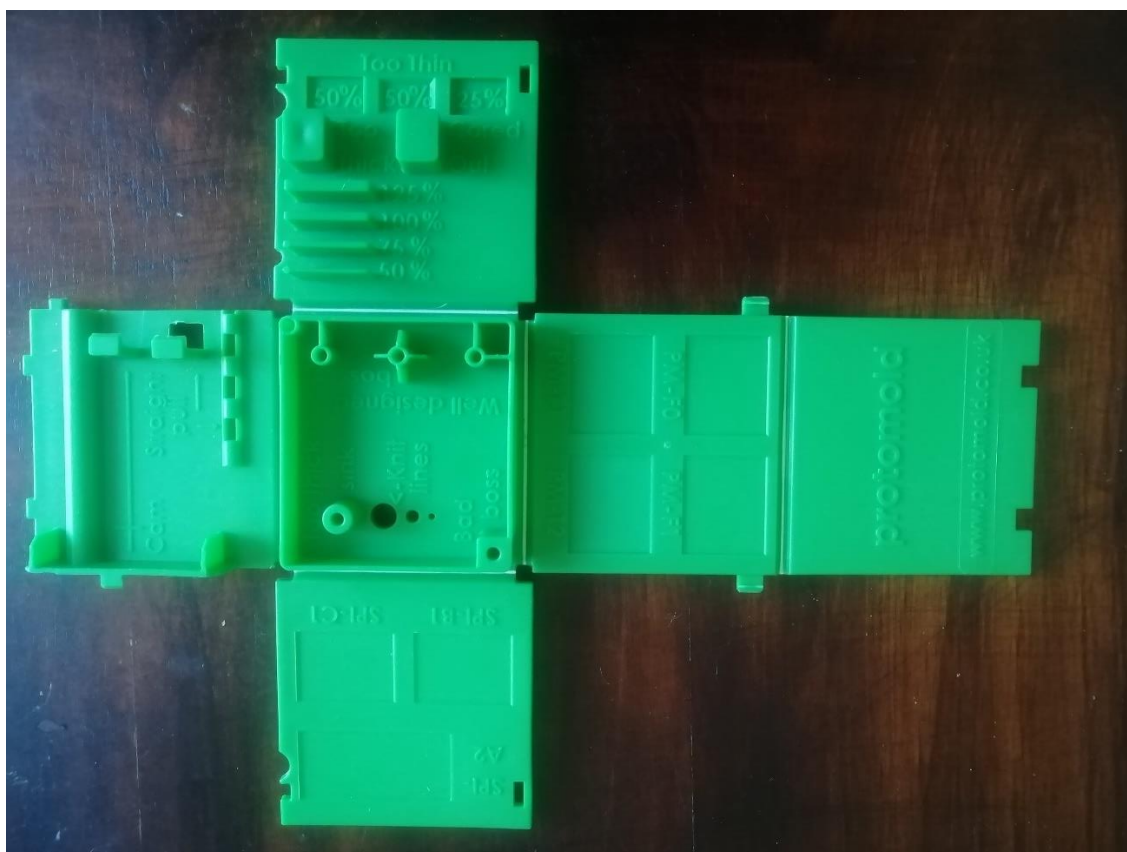
DLP-tekniikka ei paljoakaan eroa FDM-tekniikasta kun on kyse kasauksesta. Siinä ei kuitenkaan saa kesken printtauksen mitään asetettua printattavan kappaleen sisälle ja tyhjennysreiät tarvitsee tukkia ettei se vähennä kappaleen esteettisyyttä. Tämä on suht helppo tehdä printterin omalla resiinillä. Kappaleen korjattaviin kohtiin laitetaan resiiniä ja ne kovetetaan UV-valolla. Jos reikä on liian suuri, jotkin slicerit antavat mahdollisuuden, suoraan reiänmallinnusvaiheessa, tehdä erillinen malli tulpasta joka menee suoraan tehtyyn reikään. Tämän voi siten jälkeempäin liimata tai kovettaa kiinni resiinillä.

## 8 KÄYTÄNNÖN KOKEET

Kokeissa pyrittiin ottamaan mekaniikkasuunnittelun huomiokohdat ja tekemään niistä jo-  
kaista tekniikkaa erikseen käsittelevät mallit. Näin saadaan tarkemmin tietoon onko ky-  
seiset huomiokohdat hyvinkin tärkeitä mekaniikkasuunnittelun osalta.

### 8.1 Ruiskuvalu

Ruiskuvalun mallina käytettiin Proto labsin valmistamaa mallia. Kyseisessä mallissa ol-  
tiin otettu huomioon tärkeimmät huomiokohdat koko ruiskuvaluprosessissa, kun käsitel-  
lään yksi- ja monipisteruiskuvalua. [Kuva 14.]



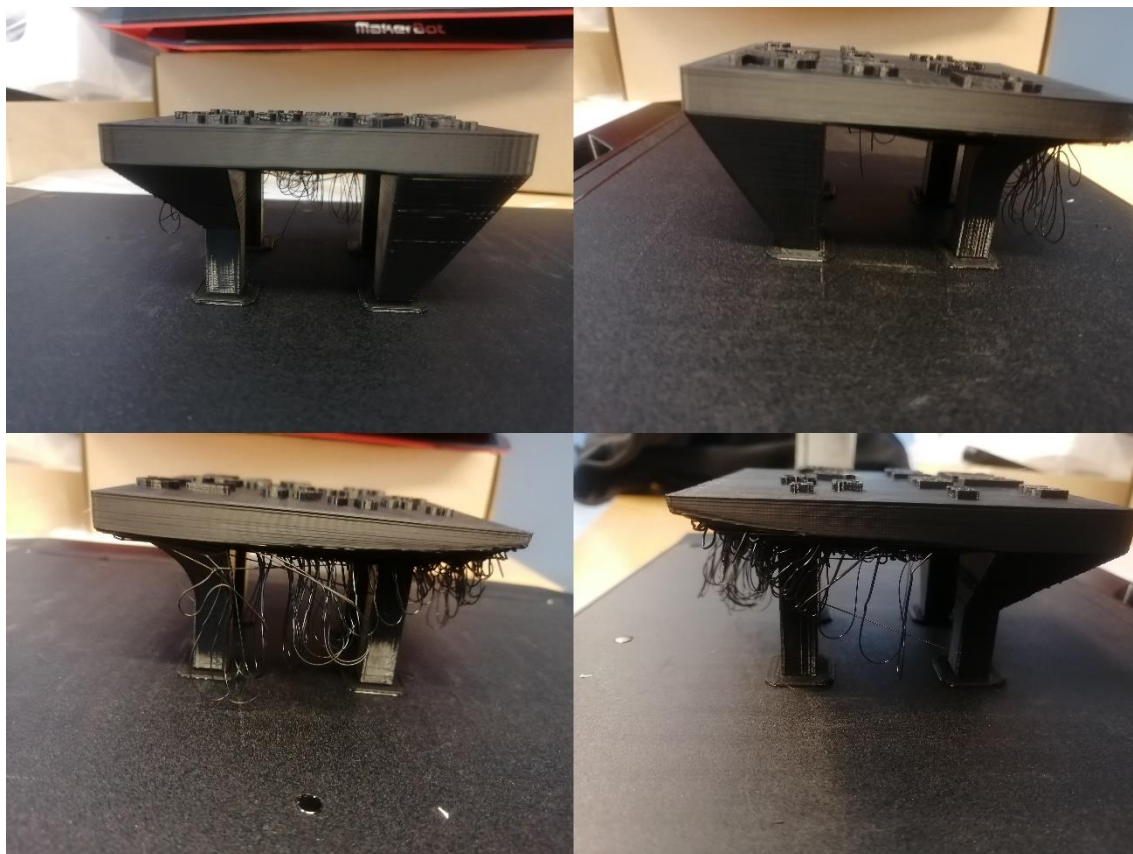
Kuva 14. Ruiskuvalun huomiokohtamalli.

Mekaniikkasuunnitteluun vaikuttavat osiot kyseisessä mallissa käsitelivät seinämävah-  
vuutta ja kiinnitysmekanismeja mitä ruiskuvalukappaleissa käsitellään. Mekaniikkasuun-  
nitteluun vaikuttavat huomiokohdat mitä ei tässä mallissa käsitelty olivat monimuotoiset

kappaleet, joita FDM- ja DLP-tekniikalla saa valmistettua niihin kuuluvan teknologian ta-  
kia.

## 8.2 FDM-tekniikka

FDM-tekniikan mallina käytettiin mallia, joka parhaiten korostaa niitä huomiokohtia, joita kyseisen tekniikan mekaniikkasuunnitteluun kuuluu. Päällimmäisenä ajatuksen oli pitää malli sellaisena ettei sitä tarvitse jälkikäsitellä. Tämä päätös pohjautui yleiseen ajatukseen tuennan tarpeettomuudesta. Siihen että pitäisi pyrkiä pitämään tuentaa minimaalisena. Kyseinen malli printattiin MakerBot Replicator+ Educators Edition-printterillä. Filamenttina käytettiin PLA:ta. Parametrit olivat MakerBotin omat arvot PLA-filamentille. Ainoa muutos mitä oli tehty oli se ettei tuentaa tulisi käyttää.



Kuva 15. FDM-tekniikan ulokkeiden käsittelyn huomiokohdat.

Mallissa on käsitelty maksimiastekulmaa ulokkeille, seinämävahvuutta ja silloitusta. Ku-  
vassa 15 on näytetty mallin eri kulmat jotta saa näkyviin ulokkeiden astekulman



huomiokohdat. Mallin jalkojen kiinnityskohdat oli suunniteltu seuraavasti ja todettu seuraavat vaikutukset mekaniikkasuunnittelun kannalta:

- 22,5° kulma = Lopputulos hyvä. Tasainen pinta. Ei valumia.
- 45° kulma = Lievästi valahtanut pinta, mutta ei suurempaa haittaa.
- 90° kulma = Täysin valahtanut pinta, joka korjaantui vasta monen printtikerroksen jälkeen siihen mitä oli suunniteltu. Tämä valahdus vaikutti myös muihin osiin mallia.
- Tasainen kaarros jalan puolestavälistä tuettavan pinnan reunaan asti = Valumaa mallin tuettavan pinnan puolella. Tämä saattaa myös johtua vieressä olevasta 90°:een kulman omaavasta jalasta, mutta teoria ehdottaa että näin olisi ilman sitäkin tapahtunut.

Silloituksen jälki ilmeni pienenä valuna tuettavan osion pohjassa. Tämä osoitti sen, että silloitus 90° kulmassa on mahdollista, jos pieni valuma on hyväksyttävissä. Tämän valuman voi poistaa jälkeensä.

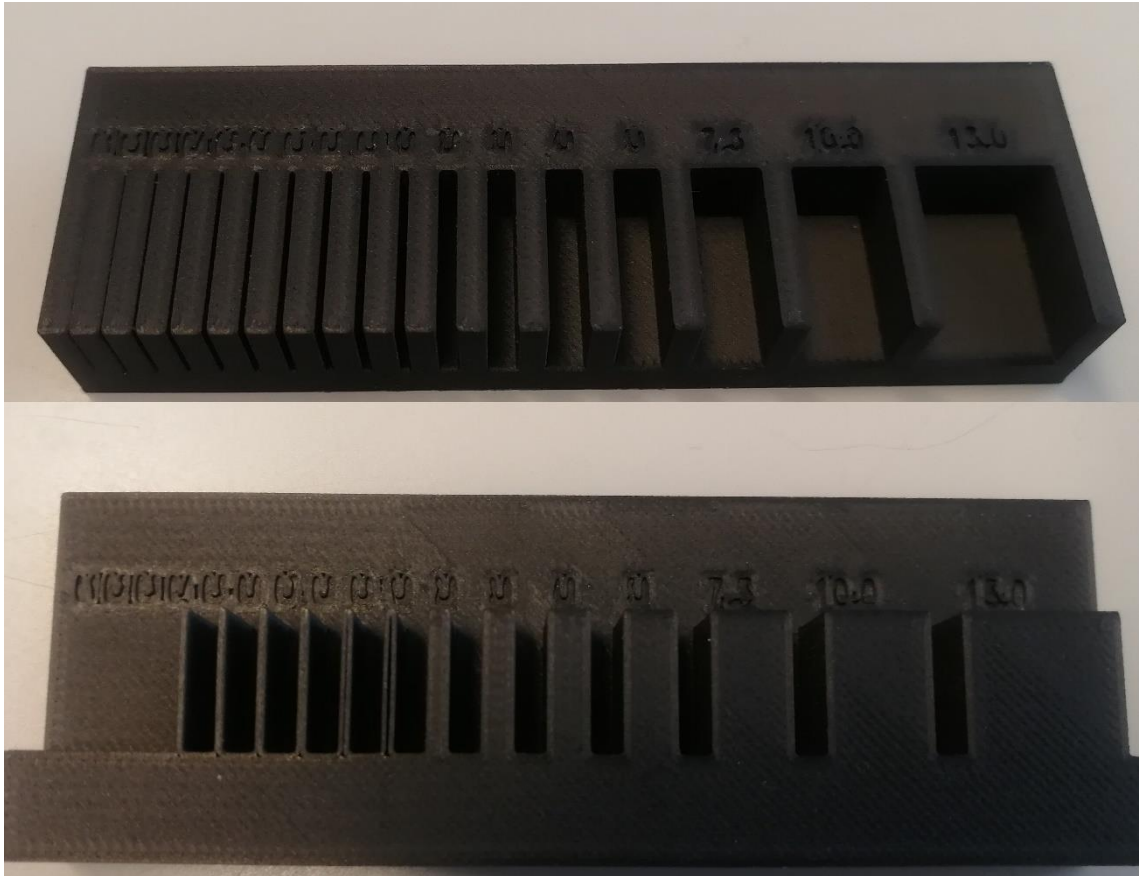
Kuvassa 16 on esitetty seinämävahvuuden vaikutus pursoitetussa kirjoituksessa. Fonttina on käytetty Century Gothic-fonttia, numerot vastaavat sen tekstin fonttikokoa ja "B"-kirjain osoittaa lihavoitua tekstiä. Malli itsessään on huono esimerkki alarajan näyttämässä, koska malliin ei saatu enempää järkevästi asetettua tekstiä. Tämä kumminkin antaa viittauksen siihen mitä fonttikokoa kannattaa käyttää kun printtaa jotain FDM-tekniikalla.



Kuva 16. Seinämävahvuus tekstissä.

Kuvassa 17 ilmenee paremmin suunnitellun seinämävahvuuden ja seinämävälin loppu-tulos FDM-tekniikassa. Ylemmässä kappaleessa on käsitelty seinämäväliä ja alemmassa itse seinämävahvuutta. Molempiin kappaleisiin on merkitty kuinka suuresta välistä tai seinämävahvuudesta on kyse kussakin tilanteessa. Testatut arvot ovat 0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, 0,5 mm, 0,6 mm, 0,7 mm, 0,8 mm, 0,9 mm, 1,0 mm, 2,0 mm, 3,0 mm, 4,0 mm, 5,0 mm, 7,5 mm, 10,0 mm ja 15,0 mm. Nämä arvot ovat suunniteltuja arvoja, ei todellisia arvoja. Tämä havainnollistaa kuinka pientä seinämäväliä tai -vahvuutta voi suunnitella, että sen saa tulostettua.

Mallin tulostamiseen oli käytetty Markforged Mark 2-printteriä. Filamenttina käytettiin Markforgedin kehittämää Onyx-filamenttia. Parametrit olivat Markforgedin teettämät parametrit kyseiselle printterille ja filamentille.



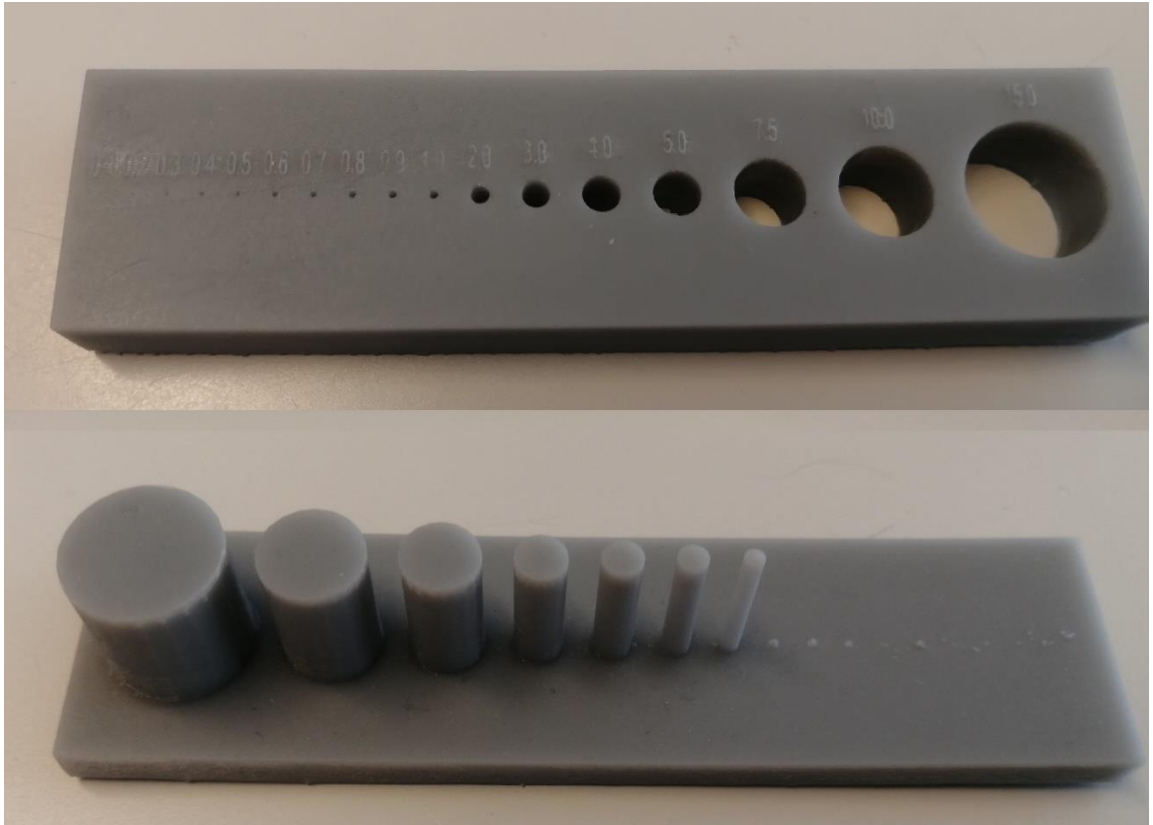
Kuva 17. Seinämävahvuus FDM-tekniikassa.

### 8.3 DLP-tekniikka

DLP-tekniikan ainoa mekaniikkasuunnitteluun vaikuttava huomiokohta on seinämävahvuus. Kaikki muut vaikuttavat huomiokohdat kuuluvat parametrejen säätöön.

Kuvassa 18 ilmenee suunnitellun seinämävahvuuden ja seinämävälin vaikutus lopputulokseen. Ylemmässä kappaleessa on käsitelty seinämäväliä ja alemmassa seinämävahvuutta. Ylemmässä kappaleessa on merkitty suunnitellun halkaisijan arvo sen yläpuolelle ja alemmassa kappaleessa ne ovat päinvastaisessa järjestyksessä.

Kyseinen kappale on tehty 3DSystems FabPro1000-printterillä. Resiininä käytettiin FabPro Proto GRY-resiiniä. Parametrit olivat 3DSystemsin antamat arvot kyseiselle resiinille.



Kuva 18. Seinämävahvuus DLP-tekniikassa.

## 9 VERTAILU JA JATKOTOIMENPITEET

Opinnäytetyön kirjallisuuden tarkasteluissa huomattiin mekaniikkasuunnittelun muutoksen tarpeettomuutta, kun huomiokohtia tarkasteltiin. Ruiskuvalun huomiokohdat käsittelivät muotin rakennetta. Ainoat huomiokohdat, jotka vaikuttavat ruiskuvalussa mekaniikkasuunnitteluun, ovat seinämävahvuus ja päästöpinnot. FDM-tekniikan huomiokohdat käsittelivät printtausparametreja. Ainoat huomiokohdat, jotka vaikuttavat FDM-tekniikassa mekaniikkasuunnitteluun, ovat seinämävahvuus ja ulokkeet. DLP-tekniikan huomiokohdat käsittelivät myös printtausparametreja. Ainoa huomiokohta, joka vaikuttaa DLP-tekniikassa mekaniikkasuunnitteluun, on seinämävahvuus.

Materiaali tuo suurimman muutoksen eri tekniikoiden seinämävahvuuksiin. Eri tekniikat pääsivät käytännön kokeissa samoihin tuloksiin kun tarkasteltiin lopputuloksia. Kaikissa malleissa mihin vaikutti materiaali itsessään käytettiin yleisiä materiaaleja. Tästä syystä hyvä jatkotutkimus on käsitellä materiaalien vaikutusta seinämävahvuuksiin.

Toinen tutkittava aihe on kemiallinen jälkikäsittely. FDM-tekniikassa käytetty kemiallinen jälkikäsittely on suoraan rinnastettavissa materiaaliin. Tämä tuo tekniikan käyttäjälle suuren kompastuskiven siihen miten FDM-tekniikasta aiheutuva huono pinnanlaadun saisi korjattua kemiallisesti.

## LÄHTEET

- 3DPrintFarm 2020. Viitattu 26.05.2020 [https://www.youtube.com/watch?v=\\_6KWJ18CsiE](https://www.youtube.com/watch?v=_6KWJ18CsiE)
- All3DP 2020. Viitattu 24.05.2020 <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>
- Chitubox 2020. Viitattu 26.05.2020 [https://www.chitubox.com/article\\_howto\\_17839\\_3\\_45.html](https://www.chitubox.com/article_howto_17839_3_45.html)
- Horne, R. & Hausman, K. 2017. 3D Printing for Dummies. 2nd Edition.
- Järvelä, P. & Syrjälä, K. & Vastela, M. 1999. Ruiskuvalu. Tampere: TTKK-PAINO
- Maker's Muse 2020a. The Best Way to Orient your 3D Prints - 3D Printing 101 – 2015. Viitattu 20.05.2020 <https://www.youtube.com/watch?v=OqRbSkX5lJk>
- Maker's Muse 2020b. Design Tips for Support Free 3D Printing Models (FDM). Viitattu 26.05.2020 <https://www.youtube.com/watch?v=SBHHwid7DWM>
- Maker's Muse 2020c. Improve your chances of 3D Printing Success! 3D Printing Masterclass. Viitattu 26.05.2020 <https://www.youtube.com/watch?v=qD0sVyc9Guw>
- Maker's Muse 2020d. 3D Print Stronger Parts! 3D Printing 101. Viitattu 26.05.2020 <https://www.youtube.com/watch?v=1NzDr1YAb8Q>
- Maker's Muse 2020e. How to Orient 3D Prints – 3D Printing 101. Viitattu 26.05.2020 <https://www.youtube.com/watch?v=JGhgaypou6E>
- Maker's Muse 2020f. Stop the stringing with Retraction! 3D Printing 101. Viitattu 26.05.2020 <https://www.youtube.com/watch?v=XZTBSJAswbs>
- Maker's Muse 2020g. 5 Reasons you need a Hot Air Gun in your 3D Printing Toolkit – 2015. Viitattu 26.05.2020 <https://www.youtube.com/watch?v=SI2Aqrxlflk>
- Maker's Muse 2020h. What is Infill? 3D Printing 101. Viitattu 26.05.2020 <https://www.youtube.com/watch?v=UuzcXsqiVX0>
- Muilu, H. & Virtanen, T. 2016. Titaani Kemia 7-9. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy
- Protolabs 2020a. Design Tips: Cosmetic Defects. Viitattu 20.05.2020 <https://www.protolabs.co.uk/resources/design-tips/cosmetic-defects-and-how-to-avoid-them/>
- Protolabs 2020b. Muovin Ruiskuvalu. Viitattu 20.05.2020 <https://www.protolabs.fi/palvelut/ruiskuvalu/muovin-ruiskuvalu/>
- Kuva 1. Protolabs. [https://www.protolabs.co.uk/resources/design-tips/cosmetic-defects-and-how-to-avoid-them/?\\_ga=2.152332346.2045625327.1589962061-1899682083.1587546277](https://www.protolabs.co.uk/resources/design-tips/cosmetic-defects-and-how-to-avoid-them/?_ga=2.152332346.2045625327.1589962061-1899682083.1587546277)
- Kuva 5. Researchgate. [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-an-FDM-3D-printer-Reproduced-with-permission-from-12\\_fig1\\_292985550](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-an-FDM-3D-printer-Reproduced-with-permission-from-12_fig1_292985550)
- Kuva 6. Filament2print. [https://filament2print.com/gb/blog/71\\_importance-infill-3d-printing.html](https://filament2print.com/gb/blog/71_importance-infill-3d-printing.html)
- Kuva 7. All3dp. <https://all3dp.com/1/3d-printing-support-structures/>
- Kuva 9. Dddrop. <https://www.dddrop.com/3d-print-tip-how-do-i-make-sure-that-my-print-does-not-warp/>

Kuva 10. All3dp. <https://all3dp.com/2/3d-print-stringing-easy-ways-to-prevent-it/>

Kuva 13. Formlabs. <https://twitter.com/formlabs/status/1204765304817143809>

Taulukko 1. Protolabs. <https://www.protolabs.fi/palvelut/ruiskuvalu/muovin-ruiskuvalu/>

Taulukko 2. Protolabs. <https://www.protolabs.fi/palvelut/ruiskuvalu/muovin-ruiskuvalu/>